

# การศึกษากระแสไฟฟ้าเชื่อมที่เหมาะสมในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 ด้วยกระบวนการเชื่อมแบบพลาสมาอาร์กอัตโนมัติ

วัลลภ พัฒนพงศ์<sup>1</sup> ตรีเนตร ยิ่งสัมพันธ์เจริญ<sup>1\*</sup> และ นครินทร์ ศรีสุวรรณ<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

ในการวิจัยนี้ มีการใช้เหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 เป็นวัสดุเชื่อม โดยกระบวนการเชื่อมแบบพลาสมาอาร์กที่มีแก๊สปกคลุม ใช้ลวดเชื่อมพลาสมาอาร์กตามมาตรฐาน AWS A5.20: E71T-1 และใช้แก๊สปกคลุมชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) โดยปรับกระแสไฟฟ้าเชื่อมในช่วง 170, 180, 190, 200 และ 210 แอมแปร์ ตามลำดับ ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าแบบ Direct Current Electrode Negative (DCEN) ผลการทดสอบจากการถ่ายภาพรังสีและการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาคเพื่อตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อม พบว่าการใช้กระแสไฟฟ้าที่ 170, 180 และ 190 แอมแปร์ แนวเชื่อมมีคุณภาพที่เหมาะสมผ่านตามข้อกำหนดของมาตรฐาน AWS D1.1 ในขณะที่การใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อมสูงจะเพิ่มโอกาสการเกิดรูพรุน (Porosity) ในแนวเชื่อม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบเชิงกล (ความแข็ง การรับแรงกระแทก และการต้านทานแรงดึง) โดยกระแสไฟฟ้าเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเชื่อมแบบพลาสมาอาร์ก กึ่งอัตโนมัติ คือ 180 และ 190 แอมแปร์ ซึ่งช่วงกระแสไฟฟ้าดังกล่าวทำให้แนวเชื่อมมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าช่วงกระแสไฟฟ้าเชื่อม 170, 200 และ 210 Amp ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** การเชื่อมเชื่อมแบบพลาสมาอาร์ก, เหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36, ลวดเชื่อมแบบมีแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม, การทดสอบเชิงกล

<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>2</sup> ฝ่ายเทคโนโลยีการกัดกร่อน สถาบันนวัตกรรมเทคโนโลยีไทย – ฝรั่งเศส, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\* ผู้ติดต่อ, อีเมล: [trinet2518@hotmail.com](mailto:trinet2518@hotmail.com) รับเมื่อ 27 มิถุนายน 2556 ตอบรับเมื่อ 23 กรกฎาคม 2557

## Investigation of the Suitable Weld Current Range for ASTM A36 Carbon Steel through Semi-Automatic Flux-Cored Arc Welding

Wallop Pattanapong<sup>1</sup>, Trinet Yingsamphancharoen<sup>1\*</sup> and Nakarin Srisuwan<sup>2</sup>

### Abstract

In this study, ASTM A36 carbon steel was flux core welded using gas-shielded, AWS A5.20:E71T-1 Flux Cored Welding Wire. The shielding gas used with the FCAW-G process was carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), while welding currents ranged from 170, 189, 190, 200 and 210 amperes respectively, with direct current electrode negative (DCEN). The Radiographic testing and macro-structure analysis were utilized for weld inspection and quality assurance. By comparison, the welding at 170, 180 and 190 amperes rendered appropriate welds in accordance with the requirements of AWS D1.1, whereas higher currents are more likely to cause porosity in the weld. With respect to the mechanical test (hardness, impact resistance and tensile strength), welding currents of 180 and 190 amperes were found more suitable for the semi-auto flux-cored arc welding process. These currents yielded better mechanical properties than utilizing the 170, 200 and 210 amp counterparts.

**Keywords :** Flux-Cored Arc Welding, Carbon steel ASTM A36, Gas shielded Flux cored wire, Mechanical testing

---

<sup>1</sup> Department of Welding Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut University of Technology North Bangkok.

<sup>2</sup> Department of Corrosion Technology, Thai-French Innovation Institute. King Mongkut University of Technology North Bangkok.

\* Corresponding author, E-mail: trinet2518@hotmail.com Received 27 June 2013, Accepted 23 July 2014

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมการเชื่อมมีความสำคัญต่อการพัฒนาและขยายตัวของอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมโครงสร้าง อุตสาหกรรมต่อเรือ อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี เป็นต้น เนื่องจากอุตสาหกรรมดังกล่าวมีการสร้างและประกอบเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยใช้กระบวนการเชื่อมต่างๆ ซึ่งขึ้นกับความเหมาะสมในงานแต่ละประเภท

ปัญหาส่วนใหญ่ในการทำงานของผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อม คือ ขาดความรู้ความเข้าใจในการเลือกใช้กระบวนการเชื่อมที่เหมาะสม ช่วงเชื่อมไม่สามารถการควบคุมการเชื่อมได้อย่างถูกต้อง แนวเชื่อมที่ได้ไม่แข็งแรง และมีจุดบกพร่องเกิดขึ้น ซึ่งผู้ประกอบการต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการวางแผนการทำงาน การทดลองเชื่อมและการตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมที่ต้องทำตามหลักวิศวกรรมงานเชื่อม

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษากระบวนการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์ (Flux-Cored Arc Welding) กึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto) ของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 ใช้ลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ AWS A5.20: E71T-1 และใช้แก๊ส  $\text{CO}_2$  เป็นแก๊สปกคลุม โดยปรับเปลี่ยนกระแสไฟเชื่อมเพื่อเป็นแนวทางในการทำงานเชื่อมที่เหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการตรวจสอบรูปร่าง ระยะความกว้าง และความหนาของแนวเชื่อม รวมถึงการทดสอบตรวจสอบสมบัติเชิงกลและวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคในบริเวณแนวเชื่อม โดยจัดทำเป็นเอกสารข้อกำหนดและวิธีการปฏิบัติการเชื่อม (WPS) และการบันทึกการรับรองคุณภาพกระบวนการเชื่อม (PQR) ซึ่งสามารถนำมาใช้ประยุกต์ในการวางแผนงานเชื่อมและการตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมของผู้ประกอบการได้

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

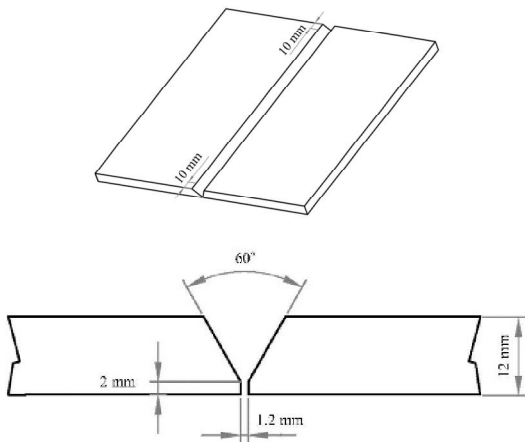
กระบวนการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์ (FCAW) นับเป็นหนึ่งในกระบวนการเชื่อมที่ได้รับความนิยมจากผู้ประกอบการ เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์เครื่องเชื่อมแบบ MIG/MAG ได้ โดยมีมีการเปลี่ยนชนิดของลวดเชื่อมจากลวดเชื่อมตัน (Solid wire) มาเป็นลวดเชื่อมแบบมีแก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Gas shielded Flux cored wire) ซึ่งสามารถเลือกใช้แก๊สปกคลุมแบบคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) หรือแก๊สผสมระหว่างอาร์กอน (Ar) และคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ )

จากความรู้ทางทฤษฎีได้ระบุไว้ว่ากระบวนการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์ (FCAW) จะใช้เวลาเชื่อมที่รวดเร็วกว่ากระบวนการเชื่อมไฟฟ้าที่ใช้ลวดเชื่อมหุ้ม ฟลักซ์ (SMAW) อีกทั้งชิ้นงานเชื่อมบางชนิดสามารถเลือกใช้ลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ประเภทที่ไม่ต้องใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Self-shielded Flux cored wire) ซึ่งเหมาะกับงานกลางแจ้ง เพราะจากสารเคมีที่อยู่ในแกนลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์จะหลอมละลายแล้วแตกตัวกลายเป็นกลุ่มแก๊สปกคลุมแนวเชื่อมในขณะที่เกิดการอาร์กกับชิ้นงานเชื่อม มีผลให้ความสามารถในการเติมเนื้อลวดเชื่อมได้สูงกว่าการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมตัน (Solid wire) ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมแบบ MIG/MAG โดยกลุ่มแก๊สปกคลุมจะป้องกันไม่ให้ก๊าซออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศไปทำปฏิกิริยากับน้ำโลหะในบ่อหลอม จึงช่วยลดการเกิดจุดบกพร่องของแนวเชื่อมคุณภาพแนวเชื่อมที่ได้จะมีสมบัติทางด้านโลหะวิทยาและสมบัติเชิงกลที่ดี ดังนั้นกระบวนการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์จึงนิยมใช้กับงานเชื่อมที่ต้องการคุณภาพของแนวเชื่อมสูง เช่น มาตรฐาน AWS D1.1 มาตรฐาน ASME Boiler and Pressure Vessel Code เป็นต้น [1-2]

### 3. วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับการเชื่อม

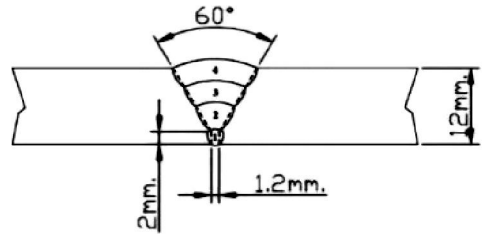
ในการวิจัยนี้ ได้เตรียมชิ้นงานทดสอบตามข้อกำหนดรอยต่อตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M โดยนำชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 ขนาดความหนา 12 mm มาตัดด้วยเลื่อยกลให้ได้ขนาดความยาว 300 mm ความกว้าง 150 mm จำนวน 10 ชิ้น โดยบากขอบชิ้นงานด้วยเครื่องบากมุม 60° ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะการเตรียมรอยต่อชิ้นงานเชื่อม

#### 3.2 วิธีการเชื่อมด้วยการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์

ในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้เครื่องเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์ (FCAW) กึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto) โดยเชื่อมชิ้นงานแบบเดินแนวบนชิ้นงาน ในตำแหน่งการเชื่อมทำรอบ 4 ระดับด้วยลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ ตามมาตรฐาน AWS A5.20: E71T-1[6] ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm และมีการเชื่อม 3 แนว ดังรูปที่ 3 ซึ่งมีการใช้แก๊ส CO<sub>2</sub> เป็นแก๊สปกคลุม โดยเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าแบบ DCEN [7] ขณะเชื่อมที่ 170, 180, 190, 200 และ 210 Amp. ตามลำดับ ควบคุมศักย์ไฟฟ้าที่ 26 volt และใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 40 cm/min.



รูปที่ 3 การเชื่อมชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36

#### 3.3 การทดสอบความสมบูรณ์และความแข็งแรงของแนวเชื่อม

เมื่อเชื่อมชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมและความเข้ากันได้ของเนื้อวัสดุลวดเชื่อมและวัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการเชื่อมรวมถึงการทดสอบความแข็งแรงของแนวเชื่อม โดยทำตามข้อกำหนดการตรวจสอบของ AWS D1.1/D1.1M [8] ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็น 5 ส่วน

- 1) คือการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยภาพถ่ายรังสี (ASTM E94)
- 2) การวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค (ASTM E340)
- 3) การทดสอบความแข็ง (ASTM E18)
- 4) การทดสอบการรับแรงกระแทก (ASTM E23) และ
- 5) การทดสอบความต้านทานแรงดึง (ASTM E8)

### 4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

#### 4.1 ผลการตรวจแนวเชื่อมด้วยภาพถ่ายรังสี

จากการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยภาพถ่ายรังสี ตามมาตรฐาน ASTM E94 กับชิ้นงานทดสอบที่ใช้กระแสไฟเชื่อมแตกต่างกัน 5 สภาวะ พบว่าแนวเชื่อมจะมีความสมบูรณ์เมื่อใช้กระแสไฟเชื่อม 170, 180 และ 190 Amp. แต่เมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมสูงที่ 200 และ 210 Amp. แนวเชื่อมจะเกิดรูพรุนขนาดเล็ก (Porosity) ที่ปลายด้านขวาของชิ้นงานเชื่อม ดังแสดงในตารางที่ 3

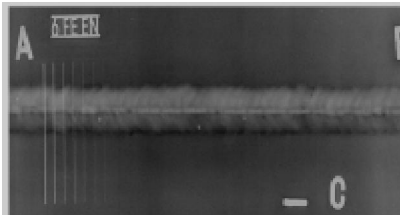
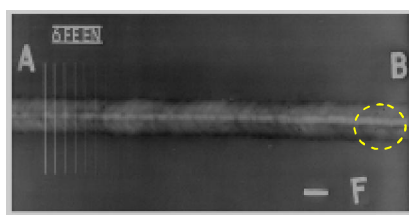
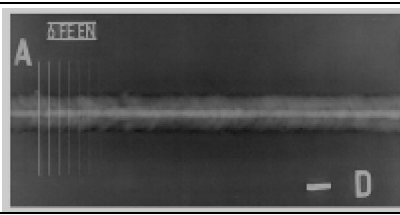
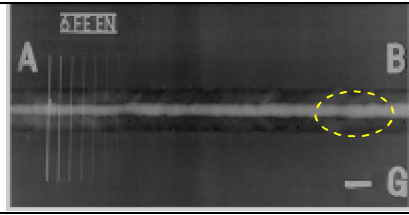
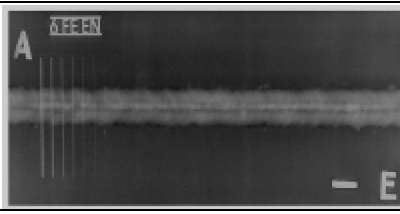
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของชิ้นงานเชื่อม ASTM A36 และลวดเชื่อม AWS A5.20: E71T-1

| วัสดุ             | ร้อยละขององค์ประกอบของเคมีธาตุ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   | C                              | Mn   | Si   | P    | S    | V    | Cu   | Ni   | Cr   | Fe   |
| ASTM A36          | 0.26                           | -    | 0.40 | 0.04 | 0.05 | -    | 0.20 | -    | -    | Bal. |
| AWS A5.20: E71T-1 | 0.18                           | 1.75 | 0.75 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.35 | 0.50 | 0.20 | Bal. |

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของชิ้นงานเชื่อม ASTM A36 และลวดเชื่อม AWS A5.20: E71T-1

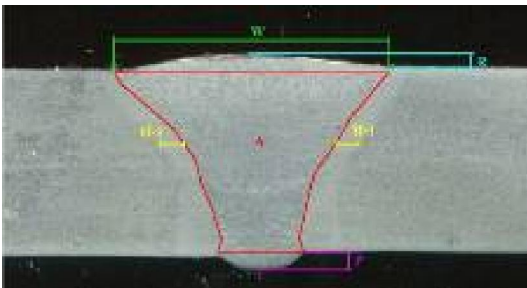
| วัสดุ             | สมบัติเชิงกล        |                |            |
|-------------------|---------------------|----------------|------------|
|                   | Tensile strength    | Yield strength | Elongation |
| ASTM A36          | 58,000 - 79,800 psi | 36,300 psi     | 20 %       |
| AWS A5.20: E71T-1 | 88,600 psi          | 73,000 psi     | 25 %       |

ตารางที่ 3 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมด้วยการถ่ายภาพรังสี (X-ray) [5]

| กระแสไฟเชื่อม | ภาพถ่ายรังสี   | กระแสไฟเชื่อม       | ภาพถ่ายรังสี  |
|---------------|--|---------------------|---|
| 170 Amp.      | <div></div>  | 200 Amp.            | <div></div>  |
| 180 Amp.      | <div></div> | 210 Amp.            | <div></div> |
| 190 Amp.      | <div></div> | วัสดุ               | เหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36   |
|               |  | ลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ | AWS A5.20: E71T-1   |
|               |  | การต่อชิ้นงาน       | Single – V – groove   |
|               | ไม่พบจุดบกพร่อง  | กระบวนการเชื่อม     | ฟลักซ์คอร์ (FCAW)<br>แบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto)   |

## 4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค

จากการวิเคราะห์โครงสร้างมหภาค ตามมาตรฐาน ASTM E340 ได้มีการเก็บข้อมูลของขนาดความกว้าง ความหนาของแนวเชื่อม ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม บริเวณเนื้อแนวเชื่อม (Weld) และบริเวณที่ได้รับผลกระทบทางความร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) ตลอดจนจุดบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่แนวเชื่อม ตามรูปที่ 4 และได้วิเคราะห์ผลการทดสอบที่ใช้กระแสไฟเชื่อมแตกต่างกัน 5 สภาวะ ในรูปที่ 5 ถึงรูปที่ 9 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ตำแหน่งการตรวจสอบลักษณะแนวเชื่อม

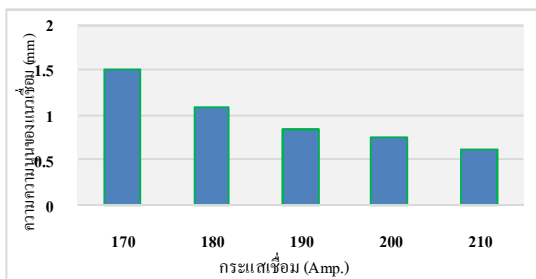
(R) = ความหนาของแนวเชื่อม

(W) = ความกว้างของแนวเชื่อม

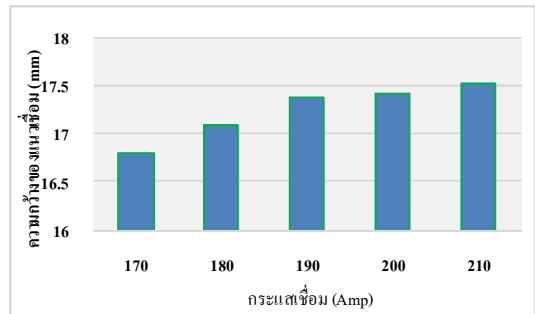
(P) = ความกว้างแนวซึมลึก

(H-1) (H-2) = บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความ  
ร้อน (HAZ)

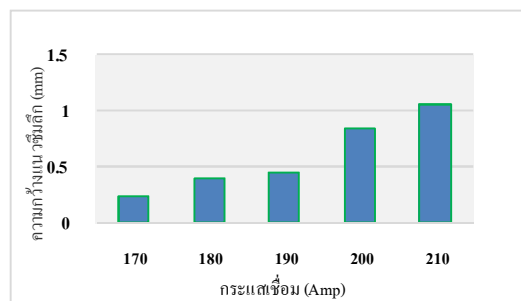
(A) = บริเวณพื้นที่แนวเชื่อม



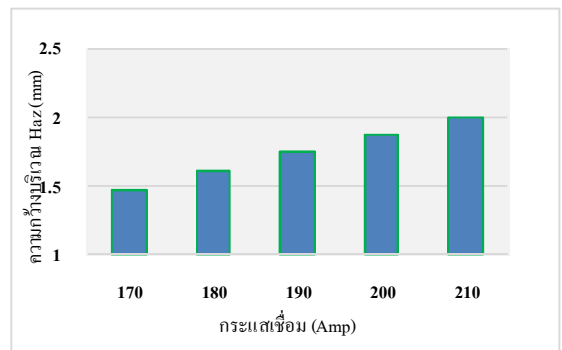
รูปที่ 5 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความหนาของแนวเชื่อม (R)



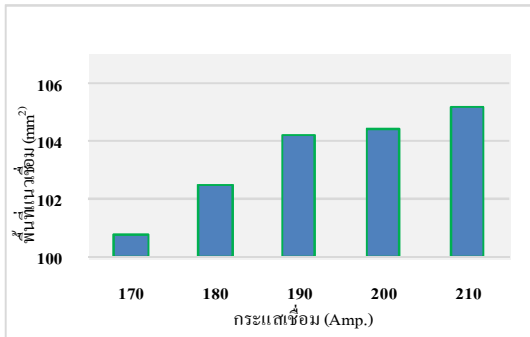
รูปที่ 6 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความกว้างของแนวเชื่อม (W)



รูปที่ 7 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความกว้างแนวซึมลึก (P)



รูปที่ 8 แผนภูมิค่าเฉลี่ยความกว้างบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (H-1) (H-2)



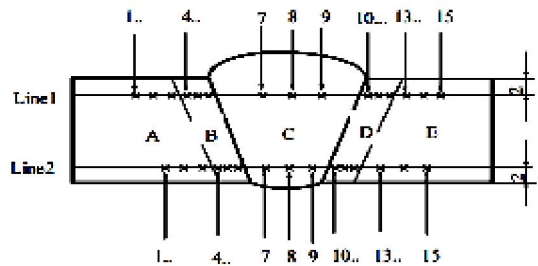
รูปที่ 9 แผนภูมิค่าเฉลี่ยพื้นที่ที่แนวเชื่อม (A)

ผลการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มกระแสไฟเชื่อมสูงขึ้น ความหนาของแนวเชื่อมมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ความกว้างของแนวเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความกว้างบริเวณ HAZ ความกว้างแนวซิมลิกและบริเวณพื้นที่แนวเชื่อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยสาเหตุเกิดจากจากค่าพลังงานความร้อนจากการอาร์ก (Heat input) ที่มีค่าแตกต่างกันในแต่ละแนวเชื่อม โดยเมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมสูง (ใช้ความเร็วในการเชื่อมต่ำเดิม) แนวเชื่อมนั้นจะมีค่าพลังงานความร้อนจากการอาร์กสูง ทำให้แนวเชื่อมมีการหลอมละลายได้เพิ่มขึ้นและมีเวลาในการเย็นตัวเพิ่มขึ้น เป็นผลให้มีการซิมลิกมากขึ้น แต่ความกว้างของแนวเชื่อมและความกว้างบริเวณ HAZ จะเพิ่มขึ้น ส่วนความหนาของแนวเชื่อมจะลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ ความแข็งแรงของแนวเชื่อมลดลง นอกจากนี้ จุดบกพร่องต่างๆ มักจะเกิดกับชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าพลังงานความร้อนจากการ อาร์กสูงหรือต่ำเกินไป

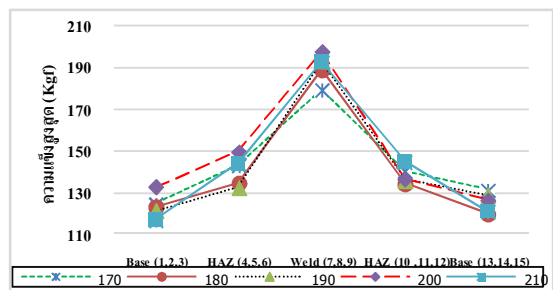
#### 4.3 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness Test)

การทดสอบความแข็งของชิ้นงานเชื่อมทั้ง 5 สภาวะ ตามมาตรฐาน ASTM E18 ใช้มาตรวัดแบบ Vickers hardness test และกำหนดจุดการทดสอบ 3 บริเวณ คือ

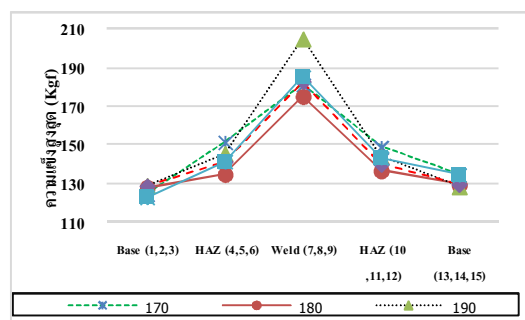
ชิ้นงานเชื่อม (Base Metal) บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) และบริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal) [7] โดยแบ่งเป็น 2 แนวทดสอบ คือ ด้านบนแนวเชื่อม (line 1) และด้านล่างแนวเชื่อม (line 2) ดังรูปที่ 10 โดยผลการทดสอบความแข็งแสดงไว้ ดังรูปที่ 11 และ 12



รูปที่ 10 ภาพตัดขวางแสดงตำแหน่งทดสอบความแข็งบนชิ้นงานเชื่อม



รูปที่ 11 ค่าเฉลี่ยการทดสอบความแข็ง Line 1



รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยการทดสอบความแข็ง Line 2

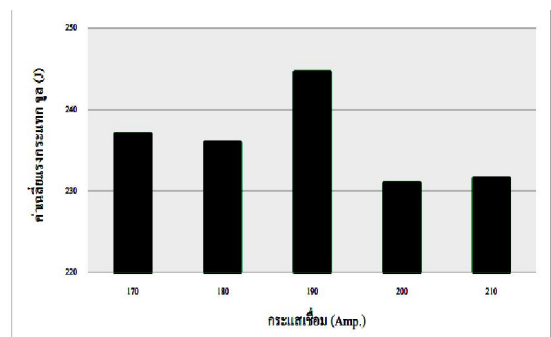
จากผลการทดสอบความแข็งที่แนวเชื่อมทั้ง 5 สภาวะ ของชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 ที่ใช้ลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ไวร์ พบว่าบริเวณบริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal) ของแนวทดสอบ Line 1 และ Line 2 จะมีค่าความแข็งสูง เนื่องจากลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ไวร์ ตามมาตรฐาน AWS A5.20 : E71T-1 มีการควบคุมปริมาณธาตุคาร์บอน แมงกานีส ซิลิกอน ฟอสฟอรัสและซัลเฟอร์ให้มีความเหมาะสมโดยอาศัยการคำนวณทางด้านโลหะวิทยาทางานเชื่อม (Welding metallurgy) และโลหะวิทยากายภาพ (Physical metallurgy) เพื่อควบคุมการหลอมเหลวของเนื้อลวดเชื่อมในบ่อหลอมละลายและเย็นตัวภายใต้สภาวะที่ควบคุมในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งทำให้บริเวณแนวเชื่อม (Weld Metal) มีความแข็งและแข็งแรงกว่าบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อน (HAZ) และคือ ชิ้นงานเชื่อม (Base Metal) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความแข็ง Line 1 พบว่า ที่กระแสไฟเชื่อม 190, 200 และ 210 Amp. ค่าความแข็งโดยรวมใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มสูงกว่ากระแสไฟเชื่อมที่ 170 และ 180 Amp. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลทดสอบความแข็ง Line 2 พบว่า ที่กระแสไฟเชื่อม 190 Amp. มีค่าความแข็งโดยรวมสูงที่สุด จากผลการทดสอบดังกล่าว สามารถนำความรู้เรื่องค่าพลังงานความร้อนจากการอาร์ก (Heat input) มาอธิบายได้คือ เมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมสูง ชิ้นงานจะมีค่าพลังงานความร้อนจากการอาร์ก (Heat input) สูง และทำให้แนวเชื่อมใช้เวลาในการเย็นนานขึ้น ลวดเชื่อมและชิ้นงานเชื่อมเกิดการหลอมละลายเข้ากันได้ดี ทำให้ความแข็งแรงที่แนวเชื่อมสูงขึ้น ค่าความแข็งจึงเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

อย่างไรก็ตาม การใช้กระแสไฟเชื่อมสูงจะทำให้มีแก๊สอาร์กที่รุนแรง ทำให้บริเวณแนวเชื่อม (Weld metal) ที่เกิดจุดบกพร่อง เช่น รูพรุน (Porosity) สอดคล้องกับการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมด้วยการถ่ายภาพรังสี ที่พบว่าการใช้กระแสไฟเชื่อมที่ 200 และ 210 Amp. ทำให้มีจุดบกพร่องบางส่วนเกิดขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อมได้

#### 4.4 ผลการทดสอบการรับแรงกระแทก (Impact Test)

จากการทดสอบการรับแรงกระแทกของชิ้นงานเชื่อมทั้ง 5 สภาวะ (ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง) ตามมาตรฐาน ASTM E23 เพื่อตรวจสอบความสามารถในการรับแรงกระแทกของแนวเชื่อม (Weld Metal) ดังแสดงผลในรูปที่ 13 พบว่าที่กระแสไฟเชื่อม 190 Amp. ชิ้นงานทดสอบมีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้สูงสุดที่ 244 J. โดยมีค่ามากกว่ากระแสไฟเชื่อมที่ 170, 180, 210 และ 200 Amp. ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบสามารถตีความได้ว่าการใช้กระแสไฟเชื่อมที่เหมาะสม (190 Amp.) สามารถทำให้แนวเชื่อมมีสมบัติเชิงกลที่ดี สอดคล้องกับการตรวจสอบความแข็งของแนวเชื่อมในหัวข้อ 4.3

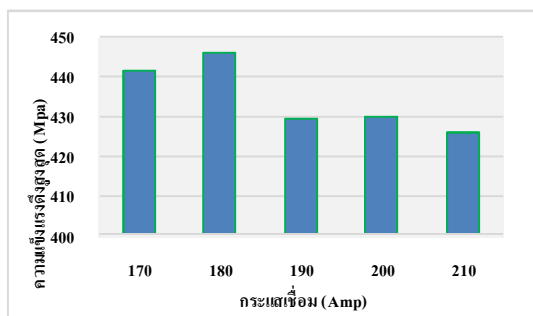


รูปที่ 13 แผนภูมิค่าการรับแรงกระแทกของแนวเชื่อม



#### 4.5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile Test)

จากการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานเชื่อมทั้ง 5 สภาวะ (ทดสอบอย่างละ 2 ครั้ง) ตามมาตรฐาน ASTM E8 พบว่าชิ้นงานทดสอบที่ใช้กระแสไฟเชื่อมที่ 170 และ 180 Amp. มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress) เฉลี่ยที่ 441 และ 446 Mpa. ตามลำดับ แต่เมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress) ของชิ้นงานเชื่อมมีแนวโน้มปรับลดลงต่ำกว่า 430 Mpa. (ที่กระแสไฟเชื่อมที่ 190, 200 และ 210 Amp.) โดยผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมด้วยการถ่ายภาพรังสี ที่พบว่าการใช้กระแสไฟเชื่อมที่ 200 และ 210 Amp. จะทำให้มีจุดบกพร่องบางส่วนเกิดขึ้นที่บริเวณแนวเชื่อม ทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมลดลง ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 แผนภูมิค่าทดสอบความต้านทานแรงดึง

#### 5. สรุปผล

จากการวางแผนงานเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 โดยใช้กระบวนการเชื่อมแบบฟลักซ์คอร์ ด้วยลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ไวร์ AWS A5.20: E71T-1 ซึ่งมีการใช้แก๊ส CO<sub>2</sub> เป็นแก๊สปกคลุม โดยมีการปรับเปลี่ยนกระแสไฟเชื่อม 5 สภาวะ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

#### 5.1 ความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม

จากข้อมูลของภาพถ่ายรังสี (X-ray) และตรวจสอบโครงสร้างมหภาค พบว่าแนวเชื่อมมีความสมบูรณ์ของความหนา ความกว้างของแนวเชื่อม และความกว้างแนวซึมลึกที่เหมาะสมตามมาตรฐาน AWS D1.1 เมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมที่ 170, 180 และ 190 Amp. ซึ่งไม่พบจุดบกพร่องในบริเวณแนวเชื่อม ในขณะที่การใช้กระแสไฟเชื่อมสูง (200 และ 210 Amp.) จะทำให้บริเวณแนวเชื่อมบางส่วนเกิดจุดบกพร่องแบบรูพรุน (Porosity)

#### 5.2 ความแข็งแรงของแนวเชื่อม

จากข้อมูลการทดสอบความแข็งแรง การรับแรงกระแทก และการต้านทานแรงดึง พบว่าชิ้นงานเชื่อมจะมีความแข็งแรงสูงเมื่อใช้กระแสไฟเชื่อม 180 และ 190 Amp. เป็นกระแสไฟเชื่อมที่เหมาะสม เนื่องจากแนวเชื่อมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี

คณะผู้วิจัยจึงได้จัดทำเอกสารข้อกำหนดและวิธีการปฏิบัติการเชื่อม (WPS) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนงานเชื่อมและการตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมของผู้ประกอบการต่อไป

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S.Duesong, “Destructive Tesing of Welds” Thai-Nichi Institute Technology, Bangkok, Febuary 2010.
- [2] W.Phattanapong, “Welding Process”, Bangkok, King Monkut’S University of Technology North Bangkok, 2545.

- [3] T.Yingsamphancharoen, C.Phanthachart, C.Khantujan, V. “The Study Influence of Gas Shield Effecting to the Deep Penetration in Gas Metal Arc Welding”, The Journal of Industrial Technology, 2 (1), 2006, pp.26-32.
- [4] S.Tengjaroen. (Welding Process).Bangkok Center for Academic Publishing Company Limited, 2531
- [5] Baldev, Dr. and Others, Non-destructive Testing of Welds, Alpha Science International, India, 2000.
- [6] S.Tengjaroen. (Welding Electrode) Bangkok : Center for Academic Publishing Company Limited., 2531.
- [7] T.Yingsamphancharoen, “Power Sources for Arc”, The Journal of Industrial Technology, 1 (2), 2005 – 2006, pp.-54-58.
- [8] AWS D1.1/D1.1M:2006 An American National Standard Approved by American National Standard Institute November 29, 2005
- [9] Kou, Sindo. Welding Metallurgy. University of Wisconsin : A Wiley-Interscience Publication , 1987.
- [10] S.Wattanasriyakul. (Material Testing). Bangkok: Green world media, 2006.
- [11] ASTM E94-00 Standard Guide for Radiographic Examination
- [12] ASTM E340-13 Standard Test Method for Macroetching Metals and Alloy
- [13] ASTM E23 - 12c Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials
- [14] ASTM E18 – 14 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials
- [15] ASTM E8 / E8M - 13a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials
- [16] Robert W. CAHN and Peter HAASEN “HYSICAL METALLURGY”, 4th edition, Amsterdam, The Netherlands, 1996.

**QW-482 SUGGESTED FORMAT FOR WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)**  
(See QW-201.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

|   |  |
|---|--|
| Company Name <u>WDET-08</u> By: <u>Prateep Khintoom</u>   |  |
| Welding Procedure Specification No. <u>WDET-WPS-03</u> Date: <u>31/07/2012</u> Supporting PQR No.(s) <u>-</u>           |  |
| Revision No. <u>-</u> Date <u>-</u>   |  |
| Welding Process(es) <u>FCAW</u> Type (s) <u>Manual</u><br><small>(Automatic, Manual, Machine or Semi-Automatic)</small> |  |

**JOINTS (QW-402)**

Joint Design Groove Weld

Root Spacing 1.2 mm.

Backing (Yes) - (No) -

Backing Material (Type) -  
(refer to both backing and retainers)

☐ Metal                      ☐ Nonfusing Metal  
☐ Nonmetallic           ☐ Other

Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the root spacing and the details of weld groove may be specified.

[At the option of the manufacturer, sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers and bead sequence (e.g., for notch toughness procedures, for multiple process procedures etc.)]

☐ Other (Describe) -

☐ Figure A   ☐ Figure B   ☐ Figure C   ☐ Figure D   ☐ Figure E

**\*BASE METALS (QW-403)**

P-No. 1 Group No. 1 to P-No. - Group No. -

OR

Specification type/grade or UNS number ASTM A36  
to Specification type/grade or UNS number ASTM A36

OR

Chem. Analysis and Mech. Prop. 0.149 C, 0.024 Cr, 0.028 Ni, 0.009 P, 0.511 Mn, 0.012 S, 0.001 Mo, 0.016 Si  
to Chem. Analysis and Mech. Prop. 0.05 C, 18.23 Cr, 8.316 Ni, 0.30 P, 1.23 Mn, 0.005 S, 0.11 Mo, 0.506 Si

Thickness Range:  
Base Metal: Groove 12 mm. Fillet -

Other -

Maximum Pass Thickness ≤ 1/2 inch (13 mm) (Yes) ☐ (No) ☐

| <b>*FILLER METALS (QW-404)</b> | 1       | 2 | 3 | 4 |
|--------------------------------|---------|---|---|---|
| Spec. No. (SFA)                | A5.20   | - | - | - |
| AWS No. (Class)                | E71T-1  | - | - | - |
| F-No.                          | 6       | - | - | - |
| A-No.                          | 1       | - | - | - |
| Size of Filler Metals          | 1.2 mm. | - | - | - |
| Filler Metal Product Form      | -       | - | - | - |
| Supplemental Filler Metal      | -       | - | - | - |
| Weld Metal                     |         |   |   |   |
| Thickness Range:               |         |   |   |   |
| Groove                         | -       | - | - | - |
| Fillet                         | -       | - | - | - |
| Electrode-Flux (Class)         | -       | - | - | - |
| Flux Type                      | -       | - | - | - |
| Flux Trade Name                | -       | - | - | - |
| Consumable Insert              | -       | - | - | - |
| Other                          | -       | - | - | - |

\*Each base metal-filler metal combination should be recorded individually.

รูปที่ 15 เอกสารข้อกำหนดและวิธีการปฏิบัติการเชื่อม (WPS) กระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์ แบบกึ่งอัตโนมัติของ เหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 ด้วยลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ตามมาตรฐาน AWS A5.20: E71T-1 กระแสไฟเชื่อม 190 Amp.

**QW-482 (Back)**

WPS No. WDET-WPS-03 Rev -

[illegible]

**รูปที่ 15** เอกสารข้อกำหนดและวิธีการปฏิบัติการเชื่อม (WPS) กระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์ แบบกึ่งอัตโนมัติของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A36 ด้วยลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ตามมาตรฐาน AWS A5.20: E71T-1 กระแสไฟเชื่อม 190 Amp. (ต่อ)